가상환경에서의 HMD사용이 인체에 미치는 영향에 관한 연구

이창민[†] · 정진회[††]

요 약

본 연구에서는 PDS 시스템 -HMD와 기타 VDU-이 가상환경에서 인체에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하였다. 연구에 관련된 실험은 HMD나 VDU를 착용하고 한시간 정도의 3차원 게임을 한 결과를 분석하였다. 정량적인 측정 및 분석 도구로는 SSQ와 RSSQ, 실험전후의 자세 테스트, 그리고 시각 테스트가 실행되었다. 실험 결과는 피 실험자간의 개인적 차이는 있지만 자세 안정성 테스트 결과와 SSQ 와 RSSQ TS 간의 관계가 크다는 것을 알 수 있었다. HMD의 SSQ, RSSQ 의 TS는 VDU의 TS 보다 1.5배 높았고, 특히 넓은 시야를 가진 MRG 3C의 TS는 SS를 일으킬 가능성이 2배나 많았다. 시뮬레이터의 통제 정도에 따른 Sickness 정도를 조사하기 위하여 수동적 환경과 능동적 환경에서 실험한 결과 PDS간 유의성은 보이지 않았으며, 같은 환경의 반복적인 경험을 통하여 sickness 유발 가능성이 감소할 것이라는 가정도 유의성이 크지 않았다. 방향감각 상실 증상군과 안구운동 불편 증상군의 TS가 높게 나타났으며 또한 RSSQ를 통하여 긴장/당황 증상군의 TS도 높게 나타났다. 이는 가상환경에 노출시 개인적 두려움도 sickness 가능성을 유발하고 있다고 유추할 수 있었다.

The Study on an Using Effect of Head Mounted Display to the Body in Virtual Environments

Chang-Min Lee[†] and Jin-Hee Jeong[††]

ABSTRACT

The focus of this study is to investigate how personal display system - Head Mounted Display(HMD) and VDU- affect to the body in virtual environments. This prediction was tested by a comparing of playing 3D games while wearing a HMD and monitoring a VDU for an hour. As quantitative measuring and analyzing tools, SSQ, RSSQ, pre and post posture stability test and vision test are used.

The results showed that SSQ and RSSQ total score (TS) are related with the results of pre and post posture stability test and SSQ and RSSQ TS of HMD is higher than TS of VDU by one point five times. Especially, TS of MRG 3C, having large field of view, has a possibility by two times of simulator sickness (SS). And in order to investigate the degree of SS regarding to the simulator control condition, two conditions, subjective-passive and subjective-active environments were compared. However, there was no significant difference between two environments. The repetition of the same environment has no effect to reduce the SS. Disorientation and oculomotor scores of the SSQ and RSSQ are higher than that of another symptoms. In addition, RSSQ score of strain/confusion is higher than that of nausea. Therefore, we assume that personal fear could possibly increase the simulator sickness in virtual environments.

본 연구는 동의대학교 교내 연구 지원에 의한 것임

[†] 종신회원, 동의대학교 산업공학과 교수

[††] 한국전력 전력연구원 원전 I&C 그룹 MMI팀 연구원

1. 서 론

시뮬레이터, 가상현실 등의 기법들은 인간이 직접 현실세계에서 경험할 수 없는 위험한 환경을 간접적으로 경험함으로서 실제 환경에 접하기 전 위험을 막을 수 있다. 국내에서도 군사, 항공, 교통, 오락 등의 분야에서 가상현실이나 그 장비에 대한 개발이 진행중이고 일부는 상용화 단계에 있지만 아직은 그 사용성 여부에 대한 부작용에 관하여는 연구가 활발히 진행되어 있지는 않다. 군사, 항공 분야에서는 실제 훈련에 적응하기 위해 시뮬레이터를 많이 탑승하므로 그와 관련된 sickness증상들에 대해 연구가 되어져 왔으나, 최근 가상현실감을 높이기 위한 장비들에 대해서는 아직 미비한 단계이다.

Simulator Sickness(SS)를 정량화 시키는 방법은 그 증상의 다양함 때문에 설문이나 증상 checklist가 가장 보편적으로 이용되는데 90년대 이전까지 가장 대표적으로 사용되어온 설문은 Kellogg, Kennedy & Graybiel이 개발한 Pensacola Motion Sickness Questionnaire (MSQ)이었고, 최근에는 SS와 관련된 증상군들의 정보를 제공해 줄 수 있는 Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)가 널리 이용되고 있다.

최근 연구되고 있는 분야들을 살펴보면 시뮬레이터 탑승 전·후에 SSQ를 이용하여 sickness를 정량적으로 평가를 하는 것과 cybersickness를 측정하기 위한 HMD(Head Mounted Display)와 VDU(Visual Display Unit)상에서의 일정 시간 게임을 수행하여 실험 전·후를 비교함으로써 가상환경과 일반적 환경간의 차이를 정량적으로 평가하는 방법이 있다. 그러나 이런 연구들은 HMD의 종류나, 시야에 관하여 연구되어진 것이 아닌 단순히 VDU와 HMD를 비교하여 단시간 환경 노출 후의 증상에 대해 유의성 유무에 관하여 분석하였다. 본 연구에서는 가상현실감을 높이기 위한 장비 중의 하나인 HMD를 사용하여 3D 게임을 수행할 경우 인체에 미치는 영향에 관해 조사하였다. Kennedy의 연구를 살펴보면, Sickness의 정량화를 위하여 SSQ를 이용하여 시뮬레이터 탑승 후의 신체 변화에 관한 남녀 비교나, 각각의 요소들에 대해 언급하였지만, 본 연구에서는 조사된 sickness 유발 가능성 요소들을 분석하기 위해 각 환경에 대한 비교 분석과 2종류의 HMD를 사용하여 다양한 가상환경에 대한 인체 반응 증상 중 두드러지는 증상을 중심으로 분석하였다.

2. 본 론

2.1 Simulator Sickness(SS) 현상

SS는 실제 물리적인 요동이 없어도 일어날 수 있다는 것을 제외하고는 멀미(motion sickness)와 거의 비슷하다. Kennedy and Fowlkes (1992)는 그 현상은 갖가지 징후와 증세를 나타내기 때문에 증후군이라고 부르고, 그 증세의 다양함 때문에 SS를 "Poly-symptomatic(다중상적)"이라고 표현하였다(Kennedy, 1991; Knerr, Lampton, Bliss, Moshell & Blau, 1993; Regan, 1993).

SS의 중요한 징후는 구토, 메스꺼움, 창백, 식은땀 등 멀미증세와 비슷하다. 이 밖의 증세로는 나른함, 혼란, 집중력 곤란, 머리가 꽉찬 느낌, 뿌연 시야, 눈의 피로가 포함된다. 연구자들에 의해 확인된 여러 요인들은 크게 3가지로 분류되는데, 나이나 성별과 같은 개인과 관련된 요인 (Reason & Brand 1975), 화면지연(Frank, Casali & Wierwille, 1988), 시야(Kennedy, Lilienthal, Berbaum, Baltzley & McCauley, 1989)와 같이 시뮬레이터와 관련된 요인, 그리고 마지막으로 기간(Duration)과 통제정도와 같이 작업 수행과 관련된 요인들이다.

개인적 사용상 불편함에 의한 시뮬레이터 이용의 감소, 훈련 성과 감소, 그리고 지상과 비행 중 안전 문제 등과 같이 SS는 여러 운영상의 문제들을 가지고 있다(Crowley, 1987). 또한 잔상의 지속, 후유증(Baltzley, Gower, Kennedy, Berbaum, & Lilienthal 1989), 눈의 암점 변화(Shift in Dark focus), 눈의 피로, 그리고 수행도 변화 등과 같이 시뮬레이터를 탑승함으로서 생기는 부수적인 영향도 있다.

시뮬레이터 탑승 후의 심각한 영향 중의 하나는 운동실조증(ataxia)이라고 하는 자세 불안정이다. 자세의 불안정과 운동실조증은 그 후유증이 6시간 이상 지속되고, 어떤 경우는 12시간 이상 지속되기 때문에 안전과 가장 크게 관련된다고 하였다. 이는 노출시간이나 자세 실험의 민감성 때문에 기인한다고 하는데 지속적인 영향, 특히 잔상(flashbacks)이나 운동실조증과 같은 것은 시뮬레이터의 사용자들의 안전에 위협이 된다(Baltzley et al. 1989).

2.2 Simulator Sickness 정량화 척도

2.2.1 Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)

설문이나 증상 checklist는 가장 보편적인 SS의 측정 수단이다. 이는 SS의 다중상적(poly-symptomatic) 특성 때문에 한가지 신호나 증상을 측정하는 것으로는 충분하지 않다(Kennedy & Fowlkes, 1992). 90년대 이전까지 가장 자주 사용되어온 설문은 MSQ이었다. 이 설문은 28개의 증상에 대하여 4점 척도(0=아무렇지 않다, 1=약간, 2=보통, 3=심하다)로 레이팅 하여 자가진단 하는 방식으로 되어있다. 비록 MSQ의 다중상 점수가 다중상성을 고려하고는 있지만 SS 연구에 응용하기 부족한 점은 단일 결과 점수가 sickness의 복합적이고 분리가 가능한 차원에 대해 정보 제공이 부족하다는 것이다(Kennedy & Fowlkes, 1992).

SSQ는 10가지 시뮬레이터에서 수집된 1119개의 MSQ를 요인분석하여 얻어졌는데 그 증상들은 4점 척도로(0=아무렇지 않다, 1=약간, 2=보통, 3=심하다)로 레이팅 된 16가지 증상으로 줄였다. Kennedy는 MSQ의 28개의 증상 중 12개 증상을 제거한 이유를 다음과 같이 설명하였다.

첫째, 통계적 척도로 빈도가 너무 적은 증상(1% 미만, 예 : 구토, 실신) 둘째,빈도나 심한 정도에서 변화가 없는 증상 셋째, 잘못된 지적을 줄 수 있는 증상들(예:지루함)에 대한 요인분석 결과 이들 레이팅은 종합점수 (Total Severity Score) 뿐만 아니라 3가지의 증상군의 점수들(Nausea : 메스꺼움, Oculomotor : 안구운동불편, Disorientation : 방향감각 상실)을 형성하였다. SSQ의 점수 체계에서는 전체적인 심한 정도를 나타내는 종합점수(TS)뿐만 아니라 이들 각 증상군에 대한 세부적인 점수들도 제공해 준다.

SSQ의 증상군의 점수는 각 증상별로 0~3까지의 숫자로 레이팅된 값을 합산하여 그 합계에 특정계수를 곱하여 구하였다. 또한 TS는 각 증상군에서 합산된 레이팅 점수의 합을 모두 더한 후에 특정계수 값을 곱하여 구하도록 하였다. 예를 들면 표 1에서 보는 바와 같이 [1], [2], [3]은 각각의 증상군별로 레이팅된 값의 합이고 각 증상군별 점수는 N=[1]×9.45, O=[2]×7.58, D=[3]×13.92로써 증상군별 특정 계수를 두어 가중치를 적용했다. 또한 TS 역시 [1], [2], [3]을 합산한 값에서 전체 증상에 대하여 점수화 하기 위해

표 1. SSQ의 계산표 (Kennedy et al. 1993)

각 증상에 대한 가중			
증상 (0, 1, 2, 3)	N 메스꺼움	O 안구운동 불편	D 방향감각 상실
일반적인 불편	1	1	
피로		1	
두통		1	
눈의 피로		1	
눈의 초점을 맞추기 어려움		1	1
침 분비의 증가	1		
발한	1		
메스꺼움	1		1
집중하기 곤란함	1	1	
머리가 꽉찬 느낌			1
뿌연 시야		1	1
눈을 떴을 때 현기증			1
눈 감았을 때 현기증			1
빙빙도는 느낌의 어지러움			1
위에 대한 부담감	1		
트림	1		
합계	[1]	[2]	[3]
점수 N = [1] × 9.54 O = [2] × 7.58 D = [3] × 13.92 TS = ([1]+[2]+[3]) × 3.74			

3.74의 특정계수를 곱하여 계산하였다. 여기서 사용되는 특정 계수값 들은 분석에 이용된 1119명의 SSQ 점수들이 같은 분산을 갖도록 조정해주는 역할을 해준다.

각 증상별로 0~3까지의 숫자로 레이팅된 값을 합산하여 그 합계에 특정계수를 곱하여 구하였다. 또한 TS는 각 증상군에서 합산된 레이팅 점수의 합을 모두 더한 후에 특정계수 값을 곱하여 구하도록 하였다. 여기서 사용되는 특정 계수값 들은 분석에 이용된 1119명의 SSQ 점수들이 같은 분산을 갖도록 조정해주는 역할을 해 준다.

주어진 상황에서 SSQ 점수가 레이팅 되었다면 그 결과는 여러 방법으로 쓰일 수 있다. Kennedy, Lane et al. (1993)은 종합점수는 증상의 전반적인 심한 정도를 나타내고 주어진 시뮬레이터가 sickness 문제를 가지고 있는지를 판별하는 최적의 지표를 제공할 것이라고 지적하였다. SSQ의 종합점수 분포는 이론적으로 -236점에서 236점까지의 점수 폭을 가지고

있다. 그러나 실제적으로는 0점에서 90점까지의 분포는 sickness 유발로 인한 인체에 유해한 정도는 아니지만 90점 이상의 점수에서는 그 사용성 여부를 조사해야 할 것이다. 추가적으로 각 증상군의 점수들은 sickness 결과의 특성에 대한 진단적 정보를 제공할 수 있다. 이 자료의 4가지 점수는 0(아무 증상도 없음)을 가지고 있고 그 값이 증가할수록 심한 정도가 증가하기 때문에 단독으로 고찰될 수 있다. 또한 Kennedy, Lane et al. (1993)은 원 데이터에 기초해서 새로운 점수의 백분위 점이 결정될 수 있고 평균과 표준편차가 비교될 수 있도록 초기 데이터를 제공하고 있다.

2.2.2 Revised SSQ(RSSQ)

현재 SSQ는 시뮬레이터에서 일어나는 SS 뿐만 아니라 가상현실환경에서 일어나는 cybersickness를 정량화하는데 널리 이용되고 있다(Kennedy, Dumlap, Stanney, Jones, 1996). 그러나 Stanney, Kennedy, Drexler(1997)는 가상현실에서의 cybersickness를 SSQ로 측정한 8가지 실험 결과를 SS와 비교하여 보면 cybersickness의 종합점수는 SS의 종합점수 보다 비교적 적게 나오는 경향이 있다고 하였다. 이렇게 cybersickness는 SS와 다른 점수분포 경향을 보이고 있기 때문에 김도희 외 (1998)는 Kennedy et al. (1993)의 SSQ와 그의 점수체계에 다음과 같은 문제점이 있다고 지적하였다.

첫째, SSQ에 사용된 증상들에는 인간의 신체나 시뮬레이터 운영에 치명적인 영향을 미치거나 SS를 대표할 수 있는 중요한 증상들이 있을 수 있다. 이러한 증상의 중요도가 점수화 과정에 포함되어야 하는데 기존의 SSQ 점수화 과정에서는 이를 고려하지 않았고 다른 증상들과 똑같이 취급하였다.

두 번째, SSQ는 증상들을 추출해 내기 위해서 MSQ의 28가지 증상에 바탕을 두었지만, 현재까지 알려진 SS 관련 증상들 중에서 MSQ의 28개 증상들에 포함되지 않은 증상들이 있다. 예를 들어 창백, 운동실조증(Ataxia) 등이 있다. 또한 MSQ에는 포함되었지만 SSQ에서는 제외시킨 증상들 중에는 SS를 대표할 만한 증상들도 포함되어 있다. 그 예가 구토이다. Kennedy et al. (1993)은 구토를 SSQ에서 뺀 이유는 1200명 중에서 구토를 일으킨 사람이 단지 2명뿐이기 때문이라고 설명하고 있다.

세 번째, SSQ의 개발 과정에 사용된 데이터는 특정 계층(군인)에서 얻어진 것이기 때문에 일반인을 대상으로 하였을 때는 같은 결과를 가져올지는 불확실하다.

네 번째, 순수한 SS를 구하기 위해서는 탑승 전의 SSQ와 탑승후의 SSQ를 각각 구해 그 차이를 비교할 수 있어야 하는데 SSQ에서는 탑승후의 데이터만으로 SSQ의 점수를 만들었다. Kennedy et al. (1993)은 건장한 군인들이므로 모두 아무 증상이 없다는 가정을 하였기 때문에 아무 문제가 없다고 하였지만, 일반인을 대상으로 하였을 때는 탑승전의 건강상태가 서로 틀리기 때문에 탑승전과 후의 SSQ를 구해 비교할 수가 있어야 한다(Kolasinski, 1995). 그러나 SSQ의 각 증상에 대한 레이팅이 4점 척도(0=아무렇지 않다, 1=약간, 2=보통, 3=심하다)의 서열(Ordinal)척도로 되어져 있기 때문에 사칙연산에 의해 탑승전과 탑승후의 SSQ를 비교할 수 없다.

김도희 외는 위의 SSQ의 문제점을 지적하고 전문가 집단을 통하여 MSQ의 각 증상들을 분석하여 24개의 증상을 가지고 새로운 RSSQ 설문지를 개발하였다. RSSQ에서의 각 증상의 심한 정도는 기존의 SSQ에서 적용한 서열척도인 4점 척도 대신에 사칙연산이 가능한 등 간격척도인 11점 척도 (0=아무렇지 않다. 10=아주 심하다. 1점 등 간격)를 적용하였다.

RSSQ의 종합점수 분포는 이론적으로 -135점에서 135으로 점수 폭을 갖지만 현실적으로는 약 -10점~80점 대의 분포를 갖는다. 약 0점부터 20점까지는 크게 불편함 없이 견딜만한 정도의 sickness를 나타내고 20~40점까지는 중간 정도의 sickness, 40점 이상인 경우 매우 심한 증세를 호소한다.

RSSQ의 증상군들은 SSQ의 3가지 증상군에 긴장/당황(Strain/Confusion)의 증상군이 추가되어 있다. RSSQ 또한 각 증상군이 중복되어 분류된 것은 SSQ와 마찬가지로 요인분석에 의해 분류되었기 때문이다.

표 2는 RSSQ의 계산방법을 표로 나타낸 것인데 SSQ와 비교하면 RSSQ에서는 각각의 증상들의 레이팅된 점수에 가중치를 곱하여 계산되어 진다. 이렇게 가중치가 적용된 각 증상들은 증상군별로 분류되어 메스꺼움, 방향감각 상실, 안구운동 불편, 긴장/당황 군의 점수에 또다시 증상군별 특정계수가 적용되고 TS는 각 증상군별 점수에 3.74의 특정계수값이

표 2. RSSQ의 계산표 (김도희, 1998)

각 증상에 대한 가중				
증상 (탑승 후 RSSQ 점수 - 탑승 전 RSSQ 점수)	N 메스꺼움	D 방향감각 상실	O 안구운동 불편	C 긴장/당황
전반적인 불편			0.00932	0.00932
피로			0.01244	
나른		0.00450		
두통			0.04137	
눈의 피로			0.04594	
눈의 초점 조종 곤란		0.04297	0.04297	
침 분비 증가	0.00602			
발한	0.01435			0.01435
메스꺼움	0.09195			
정신을 집중하기 곤란함				0.03391
머리가 꽉찬 느낌		0.02909		
뿌연 시야			0.03132	
눈을 떴을 때 현기증		0.06847		
눈을 감았을 때 현기증		0.05927		
빙빙도는 느낌의 어지러움		0.08426		
시각적 잔상			0.03412	0.03412
호흡에 대한 부담감	0.03130			
위장에 대한 부담감	0.03228			
당황				0.01765
트림	0.00622			
구토	0.17786			
창백				0.03572
몸의 중심을 잡기 어려움		0.005716		
긴장으로 인한 근육 경련				0.03252
합계	[1]	[2]	[3]	[4]
점수 N = [1] × 31.23 D = [2] × 33.59 O = [3] × 61.12 C= [4] × 92.85 TS = ([1]+[2]+[3]+[4])×3.74				

곱하여 진다(김도희 외, 1998).

2.2 실험진행 절차

피실험자는 가상환경에 노출되기 쉽고 HMD 사용가능성이 많은 20대로서 간질과 색맹을 앓은 적이 없는 건강한 남자 대학생과 대학원생 5명을 대상으로 Liquid Image社의 MRG 3C와 Sony社의 PLM-50인 HMD, 그리고 17" 모니터를 이용하여 VDU 상태를 측정하였다. MRG 3C의 시야(field of view)는 84°(H)×65°(V)로 가장 넓고 Sony社의 PLM-50은 51°(H)×41°(V)의 dual screen으로 일반 가정용 시각장치로 사용되는 경중량의 HMD이다. 실험 상황은 상하, 좌 우, 회전의 공간적 지각을 느낄 수 있는 3차원 게임을 1시간 동안 실시하였다. 피실험자는 각각의 3가지 상황에 3번의 실험을 수행함으로 총 9번의 실험을 실시하였다.

그림은 HMD 착용한 모습들이다.
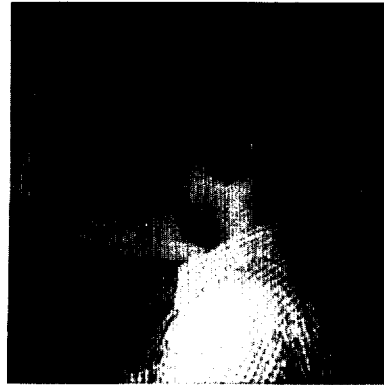
그림 1. MRG 3C의 착용 모습
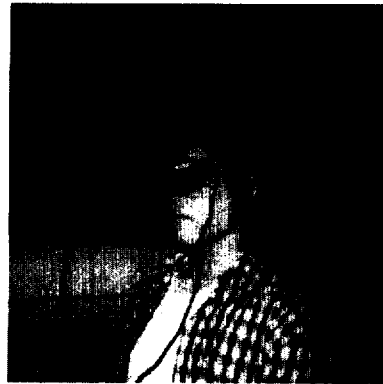
그림 2. PLM-50 착용 모습

실험 진행 방법은 피실험자의 상태를 측정하기 위하여 실험 전에 자세안정성 테스트 및 OPECT 2000 Vision Tester를 이용해 시력검사를 실시하였다. 자세 안정성 테스트방법은 선호하는 쪽 다리를 중심으로 서 있는 것과 선호하지 않는 쪽 다리를 중심으로 서 있는 것, 발가락 끝으로 까치발로 서 있는 것, 발가락 끝으로 서서 걷는 것, 기본적인 4가지 테스트를 실행하였다(Kennedy, Rowlkes & Lilienthal, 1993). 또한 실험 전, 후의 시력 검사는 OPECT 2000 Vision

Tester를 이용하여 좌, 우 눈의 근거리, 원거리 시력과 깊이 조절능력 및 Vertical 시력등의 테스트를 실행하였다(OPTEC 2000 VISION TESTER, Instruction Manual, 1984).

본 실험을 수행하기 앞서 김도회가 개발한 RSSQ 설문을 작성하고 1시간 동안의 3차원 게임인 실험에 몰입하여 실험상황의 상태를 구두로 표현하도록 하였다. 실험이 종료되면 다시 자세안정성 테스트와 시력검사, 그리고 정량적 측정방법인 RSSQ와 Kennedy의 SSQ를 작성하도록 하였다. 1시간 동안의 3차원 게임을 수행한 후에 다시 시력 검사를 실시하는데 실험 전의 측정치와 비교하여 그 수치가 떨어질 경우 15분, 30분 간격을 두어 다시 재 측정을 실시하여 실험 전의 상태로 돌아가는 시간을 알아보았다. 정확한 실험 측정치를 얻기 위해 피 실험자는 연속하여 실험을 반복하지 않고 다음 실험에 영향을 미치지 않게 2-3일 뒤에 측정하였다.

3. 분 석

3.1 SSQ RSSQ의 결과(TS) 분석

SSQ와 RSSQ를 통해 점수화된 PDS의 종합점수는 표 3에서 볼 수 있다. 이는 5명의 피실험자들의 SSQ 및 RSSQ의 종합점수 평균을 나타낸 것이다. SSQ값을 장비별로 살펴보면 HMD 사용이 VDU 사용시 보다 높은 점수를 나타내었다. HMD 중에서도 시야가 넓은 MRG 3C가 Sony사의 PLM-50보다 1.18배, VDU 보다는 1.4배 정도 높은 수치로 나타났다. 이는 MRG 3C와 VDU 측정치의 T-test 결과 T 검정통계량 값이 2.2285이고, 이에 대응되는 유의확률 $Prob > |T|$은 0.0341이다. 이는 0.05보다 작으므로 유의수준 $\alpha = 0.05$에서 MRG 3C가 VDU의 사용에 비해 sickness가 크다는 것을 통계적으로 나타낸 것이다. 또한 Sony의 PLM-50과 VDU의 모평균 비교에서도 유의확률 $Prob > |T|$ 0.1916이므로 유의수준 $\alpha = 0.20$에서 T=1.3383으로 PLM-50과 VDU 사용시에도 통계적유의성이 있는 것으로 나타났다. 이는 실험 후-전의 RSSQ(이하 RSSQ)에서도 유의수준 0.05에서 검정력 2.09로써 MRG 3C의 점수가 VDU 보다는 2배 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 Sony의 PLM-50과 VDU 환경을 비교하더라도 약 80%의 신뢰성을 가지고 1.5배 이상의 sickness를 유발할 가능성을 나타내고 있다. 또한 실험 전·후의 RSSQ 차이가 12~15점을 나타내었는데 이는 실험 전 피실험자들의 상태로 볼 수 있다. 결론에서 언급하겠지만 이 부분의 점수 대는 인체에 크게 불편함이 없는 정도로 일반인들의 보통 상태라고 볼 수 있다.

표 3. HMD와 VDU의 SSQ와 RSSQ의 TS

PDS	MRG 3C			Sony PLM-50			VDU		
정량화	SSQ	RSSQ	RSSQ (실험 후-전)	SSQ	RSSQ	RSSQ (실험 후-전)	SSQ	RSSQ	RSSQ (실험 후-전)
TS	140.37	58.40	46.02	119.68	50.43	35.17	100.23	35.21	22.87
T-Test	SSQ		MRG 3C & VDU		$T = 2.2285$			$p = 0.0341$	
			PLM-50 & VDU		$T = 1.3383$			$p = 0.1916$	
	RSSQ (실험후-전)		MRG 3C & VDU		$T = 2.0902$			$p = 0.0458$	
			PLM-50 & VDU		$T = 1.2672$			$p = 0.2155$	

3.2 실험 환경에 따른 SSQ와 RSSQ

본 연구에서는 시뮬레이터 통제정도에 대한 차이를 알아보기 위해 장비별로 다음의 세 가지 다른 실험환경을 제시하였다. 첫 번째 환경에서는 피실험자 외의 다른 오퍼레이터가 작동하는 게임을 수동적 자세로서 지켜보는 환경이다. 처음 환경과 비교하기 위한 두 번째 조건은 같은 게임을 피실험자들이 직접 수행하도록 설정하였다. 이는 피실험자들이 직접 수행했던 실험에 대하여 동일 조건이 반복 될 경우 실험 후의 증상을 분석하기 위함이다.

이는 현실세계에서의 시뮬레이터 경험을 토대로 한 이론에 기인한 것으로서 능동적 환경보다는 수동적 환경에서의 장비 사용이 sickness 증세가 클 것이라는 것과, 같은 환경의 반복 실험 시 시뮬레이터에 대한 적응을 가정하여 처음 실험 보다 반복 실험 경우가 낮은 수치의 점수로 sickness 증상이 감소할 것이라는 가정으로 실험을 실시하였다.

그러나 실험 전의 가정과는 다른 결과가 나왔다. 수동적 입장에서의 실험과 능동적 입장에서의 실험을 비교할 경우 표 4에서 보는 바와 같이 TS의 차이는 10점 이상 증가한다.

이를 모평균 비교를 통해 살펴보면 SSQ의 경우 검정통계량 T=-0.7529, P-value가 0.4579로 유의수준 45%까지 선정하더라도 두 모집단간의 차이가 있

표 4. 실험환경에 따른 SSQ와 RSSQ의 평균

<table>
<tr><td>실험환경</td><td colspan="2">1회 : 수동</td><td colspan="2">2회 : 능동</td><td colspan="2">3회 : 능동 반복</td></tr>
<tr><td>정량화</td><td>SSQ</td><td>RSSQ</td><td>SSQ</td><td>RSSQ</td><td>SSQ</td><td>RSSQ</td></tr>
<tr><td>평균</td><td>114.19</td><td>28.78</td><td>128.91</td><td>37.27</td><td>117.19</td><td>38.01</td></tr>
<tr><td rowspan="4">T-Test</td><td rowspan="2">SSQ</td><td>수동 & 능동</td><td colspan="2">T = -0.7529</td><td colspan="2">p = 0.4579</td></tr>
<tr><td>능동 & 능동반복</td><td colspan="2">T = 0.7529</td><td colspan="2">p = 0.4578</td></tr>
<tr><td rowspan="2">RSSQ</td><td>수동 & 능동</td><td colspan="2">T = -0.8199</td><td colspan="2">p = 0.4192</td></tr>
<tr><td>능동 & 능동반복</td><td colspan="2">T = -0.0739</td><td colspan="2">p = 0.9419</td></tr>
</table>

음에 대한 가설을 통계적으로 입증할 수 없다. 또한 RSSQ 측정치를 살펴보면 유의수준 $\alpha = 0.4192$에서 검정량 T=-0.8199을 나타내므로 40%에서 귀무가설을 기각할 수 없다. 즉 수동적 환경과 능동적 환경과의 차이는 SSQ 및 RSSQ 모두 차이가 없다는 50%정도의 신뢰성으로 나타나기 때문에 TS점수가 능동적 환경에서 크다하더라도 수동적 환경보다 능동적 환경에서의 sickness 유발 가능성이 있다는 것을 입증하기 어렵다.

또한 같은 환경에서 반복 실험을 할 경우 그 환경을 처음 접하는 경우보다 반복적인 경우에 sickness가 감소할 것이라는 가정을 비교하였다. 그 결과 SSQ의 측정값은 반복 실험에서 측정치가 감소하긴 하였지만 RSSQ 측정치에서는 반복 실험 결과가 더 높은 수치를 가져왔다. 이를 증명하기 위한 통계적 분석에 의하면 SSQ를 통한 T 검정력은 유의수준을 45%이상 높여야 검정력 T=0.7529로써 반복에 대한 sickness가 감소한다는 것을 나타내 주었다. RSSQ 측정치에 대한 모평균 비교 결과 역시 유의수준 $\alpha = 0.9419$에서 T=-0.0739로써 SSQ 및 RSSQ 점수를 통하여 반복에 대한 sickness 감소 가능성은 입증하기 어렵다. 즉 같은 환경에 대하여 반복 노출되더라도 표 4에서 보는 바와 같이 감소하지 않는다는 것이다.

위와 같은 결과는 실험 전 가정한 가설에 대해 모두 상반된 결과를 나타낸 것이다. 이에 대하여 몇 가지 원인을 조사하여 보았다. 먼저 수동적 환경이 능동적 환경에서의 sickness 유발가능성이 클 것이라는 가정을 기각하는 수치들은 실험에 참여한 피실험자들의 관심이나 흥미의 부족을 하나의 원인으로 세울 수 있겠다.

실제 실험 수행 시 피실험자들은 수동적 환경에서 1시간의 가상환경 노출 동안 지루함으로 인해 흥미가 떨어지므로 가상환경을 체험할 수 있는 몰입감이 부족하였다. 또한 피실험자들의 개인적 차에 의하여 수동적 환경에서의 측정값보다 능동적 환경에서의 측정값이 SSQ의 경우 20~108점 증가하였고 RSSQ 경우 역시 0.5~54점까지 증가하였다. 특히 실험이 진행됨에 따라 SSQ 및 RSSQ의 종합점수가 증가하는 피실험자도 나타났다. 이는 피실험자의 개인적 차이로서 실험에 대한 두려움이 작용하여 가상환경 노출시간 동안 영향을 주는 원인으로 볼 수 있다.

시뮬레이터의 경험(적응)에 관한 이론을 근거로 같은 환경을 반복 경험할 경우 sickness 유발 가능성이 감소되어야 하는 가정을 세웠다. 그러나 SSQ 점수는 예상했던 대로 반복적 수행 결과 점수가 감소하였지만 RSSQ는 더 증가한 결과를 볼 수 있다. Kolasinski의 연구에 의하면 개인적 차이가 있으므로 반복적 수행을 한다고 해서 반드시 낮은 점수를 가져오지는 못한다고 하였다. 본 연구에서는 Kolasinski의 이론과 같이 개인적 차이도 원인으로 볼 수 있지만 여기서 개인적 차이란 현실세계의 적응도가 포함된다고 볼 수 있다. 즉, 피실험자는 실험 상황에 대해 완전한 적응이 없었기 때문에 동일 환경의 반복적 노출에도 그 결과가 두드러지게 sickness의 감소로 나타나지 않았다는 결론이다. 그러나 적응이 될 만큼의 반복을 경험할 경우는 이와 다른 결과를 도출 할 가능성이 있다.

3.3 증상군별 분석

TS점수를 통하여 HMD가 VDU 사용시 보다 SS가 크다는 것을 입증하였다. 그 중에서 시야가 넓은 MRG 3C가 인체에 미치는 영향이 가장 크다는 것을 알았다. 본 절에서는 장비의 사용 각각의 증상군들을 분석해 보았다. SSQ의 설문에는 메스꺼움 : N (Nausea), 방향감각 상실 : D (Dis orientation), 안구운동 불편 : O(Oculomotor)의 3가지 증상군으로 분류가 되어 있고 RSSQ는 SSQ의 증상군에 긴장/당황 : C (Strain/Confusion) 의 증상군이 추가되어 분류되어 진다. 표 5는 SSQ와 RSSQ를 통해 분류된 증상군의 점수분포를 나타낸 것이다.

HMD 및 VDU에서 공통적으로 나타나는 증상은 SSQ에서는 방향감각 상실 증상군이 120점 이상으로 가장 큰 값을 나타내었다. 그러나 RSSQ의 경우는

표 5. PDS별 각 증상군 점수의 평균

PDS	MRG 3C				Sony PLM-50				VDU			
Factor	N	D	O	C	N	D	O	C	N	D	O	C
SSQ	110.66	173.54	101.54	-	91.55	144.77	90.96	-	71.87	121.57	79.84	-
RSSQ	32.34	36.30	53.96	53.81	26.55	31.23	51.40	42.65	9.76	21.47	31.79	28.49
Rating	20.07	26.67	25.67	22.53	13.87	20.07	23.27	18	6.8	15	15.67	11.67

(N: 메스꺼움, D: 방향감각 상실, O: 안구운동 불편, C: 긴장/당황) Rating

안구운동 불편 증상군이 30점 이상으로 가장 크게 나타났다.

RSSQ의 가중치를 적용시키지 않은 레이팅값의 경우는 MRG 3C 사용에서 안구운동 불편군에 비해 1점 차이지만 방향감각상실 증상군이 26.67로 가장 큰 값을 나타내었다.

SSQ의 경우 안구운동 불편 증상군 보다는 방향감각에 대한 불편이 높게 나오게 된 이유는 시뮬레이터를 위주로 측정하는 방법이기 때문에 방향감각 상실 증상군에 가장 큰 특정계수 값을 곱하였기 때문이다. RSSQ는 일반인을 대상으로 측정하는 방법이고, 본 실험을 수행한 피실험자들이 호소하는 안구운동 불편 증세와 유사하게 같은 증상군에 대한 높은 점수를 나타내었다.

3.4 상관관계

SSQ와 RSSQ의 정량화된 점수들이 개인의 신체적 균형과의 관계를 알아보기 위하여 TS와 자세안정성 테스트 사이의 상관계수를 분석하여 보았다[표 6]. RSSQ 경우는 MRG 3C나 PLM-50과 같은 HMD 사용이 0.7 이상으로 높은 수치를 나타냄으로써 HMD 사용시 인체에 유해한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉 VDU를 이용시 안구운동 불편이나 방향감각 상실 등의 인체에 유해한 영향을 미치는 정도가 60%에 달한다면 같은 시간, 같은 작업 수행에 HMD를 사용할 경우 인체에 미치는 sickness가 20~30% 증가되어 75% 이상 영향을 준다는 것이다.

표 6. 자세 안정성과 TS의 상관관계

자세 안정성 테스트와 TS의 상관관계		
SSQ	MRG 3G	0.7944
	Sony PLM-50	0.5088
	VDU	0.8676
RSSQ	MRG 3G	0.8444
	Sony PLM-50	0.7538
	VDU	0.5944

4. 결론 및 추후 방향

본 연구에서는 시뮬레이터와 같은 가상환경에 노출될 경우 일어나게 되는 Simulator Sickness를 정량적으로 측정하기 위하여 기존의 정량화에 사용된 SSQ와 RSSQ를 이용하여 2종류의 HMD와 VDU 사용시 인체에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 또한 HMD와 VDU 등의 개인용 시각 장비의 시야에 따라 각각 다른 통제 환경을 주어 그 차이에 대하여도 조사하였다.

기존의 연구들은 시뮬레이터를 탑승함으로써 멀미나 메스꺼움 증상이 나타난다는 결론이었지만, 시뮬레이터가 아닌 개인용 시각 장비인 HMD 사용시 멀미나 메스꺼움 증상보다는 방향감각 상실이나 안구운동 불편이 가장 큰 영향으로 나타났다.

장비별 SSQ 점수는 MRG 3C가 140.37로써 가장 높게 나타났고 PLM-50 기종인 HMD가 119.68, 그리고 일반 PC 사용자들의 작업 형태인 VDU인 경우는 100.23으로 나타났다. 이 점수 분포는 HMD의 경우 인체에 유해한 영향을 주는 점수대로서 시야가 넓은 MRG 3C의 경우는 Sickness가 가장 크게 나타날 것이다.

RSSQ의 종합점수는 약 0점부터 20점까지는 크게 불편함 없이 견딜만한 정도의 sickness를 나타내고 20~40점까지는 중간 정도의 sickness, 40점 이상인 경우 매우 심한 증세를 호소한다고 하였다. 본 연구에서 수행된 실험의 결과를 살펴보면 VDU 사용시 22.87의 측정치를 나타내었지만 HMD 기종인 MRG 3C는 40.02, PLM-50는 35.17로써 모두 30점을 초과한다. MRG 3C의 경우가 40점을 초과하므로 그 증세가 매우 심하다는 것을 알 수 있다. 실제적으로 피

실험자들이 1시간 동안의 HMD 사용시 시각적 피로는 물론이거니와 눈의 초점이 흐려지고 시간이 지남에 따라 가상환경에 대한 반응이 느려지는 것을 볼 수 있었다. 1시간의 가상환경 몰입에서 벗어나 현실세계에 대한 적응 또한 쉽지 않아 HMD 사용이 끝난 직후에 의자에서 일어날 때 많은 비틀거림으로 몸의 중심을 잡기 힘들어하는 결과를 가져왔다.

따라서 HMD기종을 사용할 경우 기존에 알려진 메스꺼움 증상 외에도 복합적으로 인체에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 개인적 차이는 있겠지만, 시각 장비인 만큼 안구운동 불편에 대한 증상이 가장 크게 나타났고 그 외 방향감각이나 긴장/당황의 증세와 이 증상들이 심하면 위장 장애나 구토, 메스꺼움 증상이 나타날 것이라는 결론을 가져온다. 실제 본 연구의 실험을 수행한 피 실험자들의 증세를 예를 들면 실험을 수행하는 약 한 달 동안 소화 불량 및 불규칙적인 위장 운동으로 신체 리듬이 평상시와 다르게 작용되어 여러 가지 불편함을 호소하였다.

본 연구에서 수행된 실험으로 모든 시각 장비를 평가 할 수는 없지만 현재 10만 달러에 달하는 고가의 장비인 HMD에서도 두뇌에 심각한 착각현상을 발생시켜 인체에 유해한 영향을 미치는데 개인용 영상 장비로써 시중에 판매되어 일반 사용자들이 늘어나고 있는 저가형 제품일 경우에는 그 영향이 더 크게 나타나지 않을까 하는 우려가 된다. 본 연구에서 전체 HMD가 아닌 특정한 모델을 기준으로 5명의 피 실험자를 대상으로 분석하였다. 소수의 피 실험자로 인하여 측정 수치에 문제가 될 수도 있어 더 많은 피 실험자를 대상으로 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 생리학적인 측면에서의 접근도 고려해야 될 것이다.

추후에는 VDT 규격과 같이 HMD에 대한 사용성 평가가 이루어져 인간의 사용 구조에 맞는 조건이 규정되어야 할 것이다. HMD를 이용한 실제 작업 수행을 가정을 할 때 HMD를 사용하는 사람에 대한 고려를 하지 않는다면 위험 작업에 대한 가상환경이 오히려 위험환경이 될 가능성이 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김도회, 박민용, 이근희. 자동차 모의 운전환경에서 Simulator Sickness의 정량화 기법 개발 및 분석에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1998.

[2] 박성현. 현대 실험 계획법, 대영사, 1997.

[3] 이창민, 가상현실과 사용 부작용에 관한 조사 연구, 한국멀티미디어 학회지, pp. 108-117, 1999.

[4] 홍종선. SAS와 통계자료분석, 삼진출판사, 1997.

[5] Young H. Yoo, Gene H. Lee, Keun B. Lee. Relationship Between Gender, Vection and Sickness in Virtual Environments, proceeding of Ergonomic Society of Korea, 1998.

[6] Baltzley, D. R., Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G. & Gower, D. W., The time course of postflight simulator sickness symptoms. Aviation, Space and Environmental Medicine, 60(11), pp. 1043-1048, 1989.

[7] Benson, A. J., Motion Sickness. in G. Dhenin, G. R. Sharp & J. Ernsting (Eds.), Aviation medicine : Physiology and human factors (Ch. 22). London : Tri-med Book Limited, 1978.

[8] Crowley, J. S., Simulator Sickness : A problem for Army aviation. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 58(4), pp. 355-357, 1987.

[9] P. A. Howarth and P. J. Costello. The Nauseogenicity of Using a Head Mounted Display, Configured as a Personal Viewing System, for an Hour. Proceeding of the Second FIVE International Conference Palazzo dei- Congressi, pp.19-20, December 1996.

[10] Erik C. B. Olsen. The Evolution of a Virtual Reality Driving Simulator : From Enforcement Training to Research and Assessment. San Jose State University.

[11] Kennedy, R.S., Lane, N. E., Berbaum, K.S., & Lilienthal, M. G., A simulator sickness questionnaire (SSQ) : A new method for quantifying simulator sickness. International Journal of Aviation Psychology, 3(3) 203-220, 1993.

[12] Kennedy, R. S. & Frank, L. H, A review of motion sickness with special reference to simulator sickness, 1983. Paper presented at the National Academy of Sciences/ National Research Council Committee on Human Factors,

Workshop on Simulator Sickness, Naval Post-Graduated School, Monterey, CA, pp.26-28, September 1984.

[13] Kennedy, R. S. Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S., Baltzely, D. R. & McCauley, M. E., Simulator sickness in U.S. Navy flight simulators. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 60(1), pp.10-16, 1989.

[14] 'OPTIC 2000' VISION TESTER Reference and Instruction Manual, Stereo Optical Co. Chicago, IL. U.S.A., 1984.

이 창 민

1969년 3월 공군사관학교 졸업(공학사)
1982년 5월 미국 테네시공과대학 산업공학과 대학원(공학석사)
1991년 2월 고려대학교 산업공학과 대학원(공학박사)
1989년 5월~1990년 6월 Pennsylvania State University 객원 교수
1992년~1994년 공군사관학교 교수부장
1995년 3월~현재 동의대학교 산업공학과 교수
관심분야 : HCI, Virtual Reality, 인공지능, Ergonomics, Safety/Biomechanics등

정 진 회

1998년 3월 동의대학교 산업공학과 졸업(학사)
2000년 2월 동의대학교 산업공학과 대학원 졸업(공학석사)
2000년 3월~현재 한국전력 전력연구원 원전 I & C 그룹 MMI팀 연구원
관심분야 : HCI, Virtual Realty, Safety/Health